



普通高等教育“十二五”规划教材
软件工程系列规划教材

操作系统原理 与Linux实例设计 (第2版)

◎ 蒲晓蓉 周 瑞 李玉军 薛瑞尼 编著



电子工业出版社

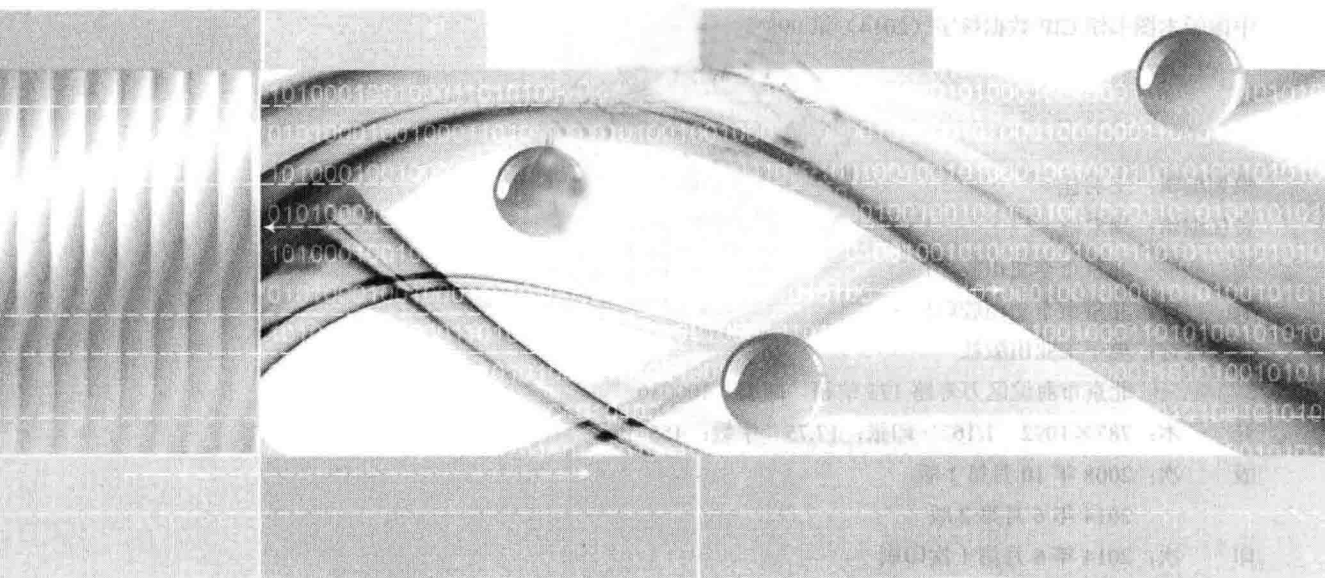
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”规划教材
软件工程系列规划教材

操作系统原理 与Linux实例设计 (第2版)

◎ 蒲晓蓉 周 瑞 李玉军 薛瑞尼 编著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书从原理性和实用性出发,以现代操作系统原理为基础,较深入地介绍 Linux 操作系统中的部分功能实现与应用编程技术。全书共 6 章,主要内容包括:概述、进程的并发控制、存储管理、设备管理、文件管理系统及嵌入式操作系统。本书提供多媒体电子课件和习题解答。

本书可以作为计算机专业和软件专业本科以及硕士研究生的计算机操作系统结构分析课程的教材,也可供相关领域的工程技术人员学习、参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

操作系统原理与 Linux 实例设计 / 蒲晓蓉等编著. — 2 版. — 北京:电子工业出版社, 2014.6

软件工程系列规划教材

ISBN 978-7-121-23204-6

I. ①操… II. ①蒲… III. ①Linux 操作系统—高等学校—教材 IV. ①TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 098190 号

策划编辑:王羽佳

责任编辑:周宏敏

印 刷:北京市李史山胶印厂

装 订:北京市李史山胶印厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:455 千字

版 次:2008 年 10 月第 1 版

2014 年 6 月第 2 版

印 次:2014 年 6 月第 1 次印刷

定 价:39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前言

计算机技术的发展不仅极大地促进了科学技术的发展,而且明显地加快了经济信息化和社会信息化的进程。因此,计算机教育在各国备受重视,具备计算机知识与能力已成为21世纪人才的基本素质之一。

计算机操作系统是现代计算机系统的核心基础系统软件,操作系统设计原理与实现技术是计算机专业人员必须掌握的基本知识。操作系统经典原理不仅适合于具体操作系统的实现,同时也对应用程序设计具有很好的指导意义。因此,学习和研究操作系统的一般原理,了解操作系统涉及的关键术语、数据结构、经典算法,对于计算机专业知识的构建是非常必要和重要的。然而,单纯的原理介绍太过于理论化,结合一个具体操作系统实例进行分析,将有助于对操作系统原理的理解,提高系统级应用程序设计能力。

本书从原理性和实用性出发,以现代操作系统原理为基础,较深入地介绍Linux操作系统中的部分功能实现与应用编程技术。全书共6章,第1章为概述,第2章详细地分析多进程的并发控制,第3章介绍现代操作系统的存储管理技术与Linux的存储实现,第4章分析输入/输出设备管理及Linux的设备管理技术,第5章介绍文件管理系统的原理及Linux的虚拟文件系统实现,第6章介绍嵌入式操作系统。

本教材基于操作系统的一般原理,结合Linux操作系统关键功能模块的实现,既有理论基础的支撑,又配合实际操作系统实例分析。通过学习本书内容,读者可以:

- 系统了解计算机操作系统的一般原理;
- 认识操作系统的各大功能模块;
- 掌握计算机操作系统的经典算法和数据结构;
- 以Linux操作系统为例,学习如何编程实现操作系统的的功能模块;
- 借鉴操作系统的原理和算法,指导计算机应用程序的设计和开发。

本书语言简明、通俗易懂,具有很强的专业性、技术性和实用性。本书是作者在对计算机专业和软件专业学生进行多年计算机操作系统教学的基础上逐年积累编写而成的,力求读者能利用操作系统的基本原理,理解和解释相应的操作系统实例。然而,众所周知,每一个操作系统实例的具体实现都是十分复杂的,且源于基本原理,又在基本原理的基础上进行了很大的发展和改进。本书注重操作系统通用原理的介绍,对实例分析部分仅仅是一个引入,有兴趣的读者还需要参考大量的文献,深入了解一个操作系统的实现。本书每一章都附有一定量的习题,供学生课后练习以巩固所学知识。本书提供教学用多媒体电子课件和习题解答,请登录华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>)注册下载。

本书可作为计算机专业和软件专业本科以及硕士研究生的计算机操作系统结构分析课程教材,也可供相关领域的工程技术人员学习和参考。

本书中关于操作系统原理部分由蒲晓蓉编写,李玉军负责第1章Linux操作系统简介、

Linux 系统调用分析与设计、第 4 章 Linux 的设备管理和第 5 章 Linux 的文件系统等内容的撰写，薛瑞尼负责第 2 章 Linux 的进程管理和第 3 章 Linux 的存储管理等部分内容的撰写，周瑞负责第 6 章嵌入式操作系统的撰写，全书由蒲晓蓉统稿。本书第 1 版的 Linux 实例部分由刘丹编写，为本次改版打下了良好的基础，在此表示感谢！本书的编写参考了大量近年来出版的相关技术资料，吸取了许多专家和同仁的宝贵经验，在此向他们深表感谢！

由于笔者经验和知识等方面的不足，加之时间仓促，最后的成品未能达到笔者预期的效果，书中难免存在错误和不足，敬请读者和专家批评指正。

编 者

于电子科技大学

2014 年 6 月

目 录

第 1 章 概述	1	2.1.1 并发概述	30
1.1 计算机系统资源与操作系统	1	2.1.2 程序的顺序执行与并发执行	31
1.2 操作系统的发展	4	2.1.3 进程及其运行环境	33
1.2.1 推动操作系统发展的关键因素	4	2.2 进程的状态转换	35
1.2.2 操作系统发展的几个典型转变	5	2.2.1 五状态进程模型	35
1.2.3 操作系统的进一步发展	7	2.2.2 进程的挂起状态与七状态进程模型	37
1.3 现代操作系统的设计概述	8	2.2.3 Linux 的进程及其状态转换	39
1.3.1 操作系统的功能性需求	8	2.3 操作系统对进程的控制	41
1.3.2 操作系统的非功能性需求	12	2.3.1 操作系统内核	41
1.3.3 操作系统依赖的硬件平台	13	2.3.2 进程的构成及进程的组织	43
1.3.4 操作系统的体系结构	14	2.3.3 进程控制块	44
1.3.5 操作系统中的关键数据结构	17	2.3.4 操作系统对进程的控制	47
1.4 Linux 操作系统简介	18	2.3.5 Linux 对进程的控制	50
1.4.1 Linux 的起源及特性	18	2.3.6 Linux 的内核机制	52
1.4.2 Linux 系统运行的基本硬件平台	19	2.4 线程——另一种并发实体	55
1.4.3 主流 Linux 操作系统版本简介	19	2.4.1 进程与线程	55
1.5 Linux 的系统调用分析	21	2.4.2 多线程并发	56
1.5.1 系统调用的含义	21	2.4.3 线程的类型	57
1.5.2 系统调用的作用	21	2.4.4 Linux 的进程与线程管理	58
1.5.3 系统调用的工作原理	22	2.5 进程调度	59
1.5.4 Linux 系统调用的相关数据结构	22	2.5.1 调度的目标、原则和方式	60
1.5.5 Linux 新型快速系统调用机制简析	23	2.5.2 调度的类型	61
1.6 Linux 的系统调用设计	24	2.5.3 进程调度算法	63
1.6.1 添加一个系统调用	24	2.5.4 实时系统与实时任务调度	66
1.6.2 系统调用测试	26	2.5.5 Linux 的进程调度分析	69
1.6.3 系统调用过程分析	26	2.5.6 Linux 下时钟中断与进程调度的关系	75
习题	29	2.6 进程并发控制：互斥与同步	77
第 2 章 进程的并发控制	30	2.6.1 并发控制	77
2.1 并发、程序与进程	30	2.6.2 互斥与同步的解决策略	80
		2.6.3 互斥/同步问题：生产者/消费者问题	89

2.6.4	互斥/同步问题: 读者/写者问题	92	3.5.1	共享存储分析	157
2.6.5	Linux 通信实例	94	3.5.2	共享存储的修改与测试	172
2.6.6	Linux 信号量分析	97		习题	175
2.7	进程死锁	99	第 4 章	设备管理	177
2.7.1	进程死锁的原因	100	4.1	设备管理子系统概述	177
2.7.2	解决死锁的方法	101	4.1.1	设备管理的主要功能	177
2.7.3	预防死锁	102	4.1.2	设备管理分层模型	178
2.7.4	避免死锁	103	4.1.3	I/O 控制方式	179
2.7.5	检测并解除死锁	107	4.2	设备分配	180
2.8	死锁问题: 哲学家进餐问题	108	4.2.1	相关的数据结构	180
	习题	110	4.2.2	设备分配算法	182
第 3 章	存储管理	113	4.3	I/O 缓冲技术	184
3.1	存储管理子系统概述	113	4.4	虚拟设备	186
3.1.1	存储分配	113	4.5	磁盘设备的管理	189
3.1.2	地址映射	114	4.6	Linux 的设备管理	193
3.1.3	存储保护	116	4.6.1	Linux 驱动程序的设计框架	194
3.1.4	存储共享	116	4.6.2	Linux 内核模块驱动程序设计	198
3.1.5	存储扩充	117	4.6.3	驱动程序测试	203
3.2	简单存储管理技术	117		习题	204
3.2.1	简单存储分区技术	117	第 5 章	文件管理系统	205
3.2.2	简单存储分页技术	121	5.1	文件管理子系统概述	205
3.2.3	简单存储分段技术	125	5.2	文件目录	206
3.2.4	简单存储段页式技术	127	5.3	文件的逻辑组织与访问	208
3.3	虚拟存储管理技术	129	5.4	文件的物理组织	211
3.3.1	虚拟存储技术概述	129	5.4.1	文件存储空间的分配技术	213
3.3.2	虚拟存储分页技术	131	5.4.2	空闲空间的管理	217
3.3.3	虚拟存储分段技术	132	5.5	Linux 的虚拟文件系统	219
3.3.4	虚拟存储段页式技术	133	5.5.1	VFS 文件系统的作用	220
3.3.5	虚拟存储系统的软件策略	134	5.5.2	VFS 文件系统的数据结构	220
3.4	Linux 的虚拟内存管理	143	5.5.3	主要数据结构间的关系	229
3.4.1	80386 分段机制在 Linux 系统中的实现	144	5.6	文件系统分析与设计	229
3.4.2	80386 的分页机制在 Linux 系统中的实现	148	5.6.1	文件系统的操作集	230
3.4.3	Linux 虚拟内存管理的实现	152	5.6.2	物理文件系统的注册	235
3.5	Linux 存储器管理案例分析	157	5.6.3	文件系统的安装	238
			5.6.4	文件系统的设计与测试	241
				习题	245

第 6 章 嵌入式操作系统	246	6.5 时钟管理	260
6.1 嵌入式操作系统概述	246	6.5.1 实时时钟和系统时钟	260
6.1.1 无处不在的嵌入式系统	246	6.5.2 时间管理	260
6.1.2 嵌入式软件系统	247	6.6 内存与设备管理	261
6.1.3 嵌入式操作系统及其特点	248	6.6.1 内存管理	261
6.1.4 嵌入式操作系统的结构	249	6.6.2 设备管理	263
6.1.5 嵌入式实时内核和扩展组件	251	6.7 嵌入式文件系统	264
6.2 任务管理与调度	251	6.8 嵌入式操作系统与通用操作系统的比较	265
6.2.1 任务及其管理	251	6.9 代表性嵌入式操作系统	265
6.2.2 任务调度	252	6.9.1 VxWorks	266
6.3 任务间的同步、互斥与通信	254	6.9.2 Windows Phone	267
6.3.1 信号量	254	6.9.3 Embedded Linux	267
6.3.2 事件	256	6.9.4 Symbian	267
6.3.3 异步信号	256	6.9.5 iOS 系统	268
6.3.4 消息队列	256	6.9.6 Android 系统	268
6.3.5 管道	257	习题	275
6.4 中断管理	258	参考文献	276
6.4.1 中断处理过程	258		
6.4.2 中断嵌套	259		

第 1 章 概 述



1.1 计算机系统资源与操作系统

计算机系统资源包括硬件资源和软件资源两大类，其中，硬件资源是计算机的基础，为计算机软件提供了运行平台；计算机软件进一步丰富了计算机硬件的功能，为用户提供使用计算机的环境。图 1.1 示意了计算机系统资源的结构。底层是计算机硬件，由处理器、内存、输入/输出设备和系统总线 4 个部分组成。其中，处理器控制计算机的操作，执行数据处理功能。对于单处理机系统，它通常称为中央处理器（处理机）。内存用于存储数据和程序，由于内存的数据不能被永久保存，因此常称为随机存储器（RAM）或主存储器。输入/输出设备包括外存（磁盘、磁带、光盘等）、键盘、显示器、打印机、绘图仪以及通过 I/O 接口与外界通信的设备。处理机和内存是计算机运行的核心部件，二者合称为“主机”。系统总线为处理器、内存和输入/输出设备间的通信提供一些结构和机制。

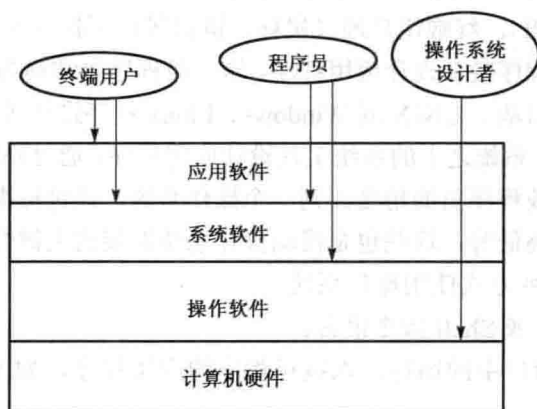


图 1.1 计算机系统资源的结构

硬件之上是操作系统。操作系统是计算机必须配置的最基本的系统软件，是其他系统软件及应用程序的基础。其主要功能之一就是隐藏底层硬件具体操作的复杂细节，为用户提供方便使用计算机的环境及程序设计和执行环境。例如，用户可以直观地向计算机发出“保存文件（Save）”命令，而不必关心“磁头移动、查找空闲磁盘块、分配磁盘空间”等操作细节。这一切烦琐的操作细节全由操作系统控制相应的部件完成，使用户轻松、方便地使用计算机。

在操作系统之上是其他系统软件，主要包括命令解释器（Shell）、窗口（Windows）系统、编译器、编辑器及其他某些独立于应用的程序。它们通常由计算机厂商提供，而不是操作系统的组成部分。操作系统专指特权保护模式下运行的软件，它受硬件保护，且不允许用



户修改。该运行模式又称为核心态（kernel mode）或管态（supervisor mode）。编译器、编辑器及应用程序等运行在较低的保护模式下，该模式称为用户态（user mode）。

系统软件之上是应用软件，这些软件可以是购买的产品，也可以由用户自行开发，它们用来解决特定的问题，如字处理、表格处理、工程计算、数据库管理、电子邮件收发或者电子游戏等。

可见，操作系统是计算机硬件和其他软件及计算机用户之间的联系纽带。如果没有操作系统，用户几乎是无法使用计算机的。那么，操作系统究竟是什么？对于现代操作系统，人们常用以下四种观点来描述：用户环境的观点、虚拟机的观点、资源管理的观点和作业组织的观点。

1. 用户环境的观点

从图 1.1 可见，计算机的用户大体可以分为终端用户、程序员和系统设计者三类。除操作系统设计者需要直接面对计算机硬件以外，一般用户包括终端用户和程序员都工作在操作系统之上。用户环境观点认为操作系统是计算机用户使用计算机系统的接口（Interface，也称为界面），它为计算机用户提供了方便的工作环境。用户利用操作系统为他们提供的各种服务、功能接口及系统调用等来使用计算机系统及其各类系统资源，而不必知道各种系统资源的细节和控制过程。操作系统为计算机用户提供了两种接口，即用户接口（User Interface，也称为命令接口）和程序接口（即操作系统提供的系统调用的集合，也称为应用编程接口，Application Programming Interface，API）。终端用户通过鼠标、键盘等使用操作系统提供的用户接口。程序员利用操作系统提供的程序接口设计应用程序，这一类程序员常称为系统程序员，他们基于操作系统进行程序设计，如基于 UNIX 或 Windows、Linux 程序设计等。还有一类程序员称为应用程序员，他们利用操作系统之上的系统工具设计应用程序，通过系统工具获得操作系统的服务。用户通常以使用者或程序员的角度评判一个操作系统，评价标准一般包括使用方便性、稳定性、安全性、性价比高低等，这些也是推动操作系统发展的关键性因素。

用户可以通过这样几种方式使用操作系统：

① 直接使用键盘命令或 Shell 命令语言。

② 利用鼠标器点击窗口中的图标，以执行相应的应用程序，如 Windows 操作系统的图形用户接口（GUI）。

③ 调用操作系统内部功能模块，即系统调用接口。这些接口和各种应用程序为用户开发和运行应用软件提供了便利的环境和手段。

操作系统的发展过程也是用户界面不断改进的过程。人机界面问题一直都是用户和系统设计者十分关注的问题。操作系统用户界面已经从字符界面、菜单界面、窗口界面发展到目前的图形界面和多媒体界面，智能、自然的人机界面是将来的一个发展方向，目前已日益成为领域研究热点。

2. 虚拟机的观点

虚拟机（Virtual Machine）的观点认为操作系统是建立在计算机硬件平台上的虚拟机器，它为应用软件提供了许多比计算机硬件功能更强或计算机硬件所没有的功能。虚拟机的观点是基于程序设计人员的观点，也称为扩展机器的观点。安装有操作系统的计算机极大地扩展

了原计算机的功能,把用户面对的一个包含有各种硬件部件的计算机系统的操作和使用由复杂变得简单,从低级操作上升为高级操作,把基本功能扩展为多种功能。

操作系统在虚拟机中充当管理员和协调员的角色,管理计算机的处理器、存储器、时钟、磁盘、网络接口以及打印机等硬件设备,以及计算机中文件的存储、读/写等,并协调多任务、多进程之间的运行。设想在一台计算机上运行的3个程序同时试图在一台打印机上输出计算结果,如果控制不当,那么可能头几行是程序1的输出数据,接下来几行是程序2的输出数据,然后又是程序3的输出数据,等等,最终打印结果显然不是用户所需要的。为了避免这种混乱,操作系统可以将打印输出首先缓冲到磁盘上,然后逐个打印每个输出结果。当前一个打印任务完成以后,操作系统再启动下一次打印任务,将那些暂存在磁盘上的输出结果送到打印机打印,同时其他程序可以继续运行,产生新的输出结果,而这些程序并不知道它们的输出有没有立即送至打印机。

操作系统虚拟机是逻辑上的概念,它不是一台单独的机器,而是与计算机硬件紧密结合在一起的,在用户面前呈现的是一台比裸机功能丰富、操作简单的高级计算机。一台硬件配置完全相同的计算机,可以配置不同的操作系统,用于不同的环境。例如,一台硬件配置相同的个人计算机可以配置 Windows 操作系统及相关应用程序,用于文字处理或管理数据库;也可以配置实时操作系统,用于工业控制;或者配置多用户分时操作系统(如 UNIX),可以使多人同时使用该计算机;还可以配置网络操作系统,管理网络资源等。可见,操作系统虚拟机不仅可以扩充系统功能,甚至还能“扩充”计算机数量,使多个用户同时使用一台计算机,每个用户都感觉自己独占该计算机。后一种操作系统即是本书介绍的重点,内容涉及如何实现多个任务同时执行以及实现这类操作系统时所遇到的各类问题及解决技术。

3. 资源管理的观点

资源管理观点认为操作系统是计算机系统中各类资源的管理者,它负责分配、回收以及控制系统中的各种软、硬件资源。资源管理的观点是目前对操作系统描述的主要观点。本书将按照资源管理的观点介绍操作系统的原理,了解操作系统如何管理系统资源。

当一台计算机(或网络)有多个用户时,由于用户间可能相互影响,所以管理和保护存储器、I/O 设备以及其他设备的需求随之增加。而且用户往往不仅需要共享硬件,还要共享信息(文件、数据库等)。此时,操作系统的首要任务是跟踪资源的使用状况、满足资源请求、提高资源利用率,以及协调各程序和用户对资源的使用冲突。资源管理的主要功能包括:

(1) 监视资源。监视系统资源的使用情况,包括系统中各类资源的总数,资源的分配状态(已分配或未分配),资源的使用状态(正在被使用或空闲),谁在使用,统计资源的使用历史,等等。

(2) 分配资源。处理对资源的使用请求,调解请求中的冲突,确定资源分配策略。当多个进程或者多个用户竞争某个资源时,根据资源分配的条件、原则和环境,决定把资源分给谁,分配多少资源,何时分配资源(是立即分配,还是暂缓分配)等。同时,记录资源分配情况,更新相应的数据结构和表格的内容。

(3) 回收资源。当使用者不需要某资源时,系统将对该资源进行处理。如果是可重复使用的资源,则进行资源回收,更新相应的数据结构和表格的内容,以备再次使用。

(4) 保护资源。系统需要保护资源,防止它们被有意无意地破坏。防止非授权的操作或



非法用户的访问。例如，防止用户非法修改系统数据。在多用户系统中，要保护每个用户的数据及程序，防止彼此间的干扰和冲突。允许多个用户使用共享资源，并对共享资源进行保护。

4. 作业组织的观点

现在很少有计算机用户知道操作系统中作业（JOB）这个概念，然而它曾经被广泛地使用。随着个人计算机的出现和普及，作业逐渐被新的名词取代。目前，在巨型机和大型服务器上，作业的概念仍然存在。在这样的服务器上（称为主机）安装了能支持多个用户程序运行的操作系统，用户通过与主机相连的前端机（一般为普通工作站或 PC）以批文件方式提交作业，请求主机逐个运行。主机操作系统负责组织、协调各个作业的运行，报告执行结果或错误信息。专门的作业控制软件将作业批量地提交给主机，有效减少了作业间切换的人工干预，大大提高了系统的工作效率。这种工作方式有利于有效利用造价高且性能强大的主机资源。

由于主机系统中存在多道程序、程序间并发执行和共享资源，操作系统必须对用户作业和任务进行管理，组织并控制系统工作的流程，建立相关的数据结构、操作模式和管理程序。随着操作系统的发展，根据系统工作的层次和并发控制程度，在操作系统中引入了任务、进程、线程及对象等概念，操作系统需要对它们进行组织和管理，我们将在后续章节中详细讨论这些概念及其原理。

综上所述，操作系统对计算机用户而言是一个用户环境，一个工作平台，是人与机器交互的界面。对系统设计者来说是一种具有强大功能的系统资源管理器，一种包含有各种数据结构和算法的集成式软件系统。据此，我们可以把操作系统定义为：操作系统是计算机系统中的一个系统软件，管理和控制计算机系统上的硬件和软件资源，合理地组织计算机的工作流程，以便有效利用这些资源为用户提供一个功能强、使用方便的工作环境，从而在计算机与用户之间起到接口的作用。



1.2 操作系统的发展

1.2.1 推动操作系统发展的关键因素

操作系统的形成与发展经历了漫长的时期。自 20 世纪 50 年代中期第一个简单批处理操作系统诞生以来，随着计算机硬件的发展，操作系统得到了迅猛的发展。20 世纪 60 年代中期产生了多道程序批处理系统，不久又出现了基于多道程序的分时系统。20 世纪 80 年代因为微机和计算机局域网的迅速发展，形成并发展了微机操作系统和网络操作系统。

那么，是什么力量推动着操作系统的发展呢？这个问题可以归结为以下几个方面。

1. 计算机硬件升级和新硬件的出现

计算机硬件是操作系统运行的基础，硬件的发展推动着操作系统的发展。例如，字符界面终端发展到图形用户终端，后者允许用户通过屏幕上的窗口同时查看多个应用程序，这就

要求操作系统提供更高级的支持。存储管理方面,当分页(Paging)硬件机制出现以后,操作系统也需要支持分页管理技术,从而解决了分区管理中存在的问题(后面的存储管理部分将有介绍)。

2. 提供新的服务,方便使用

推动操作系统发展的关键因素之一是为了满足用户不断增长的要求。方便使用是用户最广泛的需求,从批处理系统到分时系统,人机交互环境得到了极大的改善,用户使用计算机更加直接、方便。个人计算机操作系统如 Windows 系列增加了“即插即用”功能,同样是为了满足用户对多种计算机外设的使用需要。

3. 提高计算机资源利用效率

在计算机发展的初期,计算机硬件资源特别昂贵,如何有效利用计算机的各种资源是研究和改进操作系统的一个非常重要的目标。所以,出现了批处理操作系统和多道程序设计技术。

4. 更正软件错误

任何一种软件(包括操作系统)都不可避免地存在一些错误和漏洞,在使用一段时间以后发现了错误,就需要进行更正。所以,研发操作系统的公司常常需要发布“补丁”程序或升级操作系统,甚至开发新的操作系统。

5. 计算机体系结构的发展

计算机体系结构的发展也是推动操作系统发展的一个关键因素。单处理机操作系统发展到多处理机操作系统,是由于计算机体系结构由单处理机系统发展到了多处理机系统。当分布式系统和计算机网络出现以后,相应地又出现了分布式操作系统和网络操作系统。

1.2.2 操作系统发展的几个典型转变

早期的电子数字计算机是由成千上万的电子管和许多开关装置组成的庞然大物。用户在这种机器上操作和编程完全以手工方式进行,且编程只能用机器语言,采用接插板或开关板控制计算机操作,由氖灯或数码管显示。显然,此阶段的计算机没有操作系统。

20 世纪 50 年代晶体管计算机出现了,卡片穿孔成为程序编制和记录的方法,不再使用插板,而形成一种可以“阅读”的程序。命令、程序和数据用汇编语言或 FORTRAN 语言描述出来,并制成卡片,通过读卡机输入计算机,计算机运行完当前卡片上的任务以后,将计算结果从打印机上输出,接着再接收下一个来自卡片的任务。为了有效利用计算机资源,出现了能自动管理用户提交的各种应用程序的(单道)批处理程序,又称为监督程序或管理程序,这种单道批处理控制程序被称为早期操作系统。其基本操作步骤为:首先收集一批作业(卡),然后用一台专用计算机,称为输入/输出计算机,将作业逐个读到磁带上保存起来,再将磁带装到磁带机上。然后,由批处理程序将磁带上的第一个作业读入计算机,运算结束后将结果输出到输出磁带上,该计算机不负责打印输出。每当一个作业运行结束,批处理程序



自动从输入磁带读入下一个作业并运行。当收集的这一批作业全部执行结束后，操作员取下输入磁带和输出磁带，用输入磁带录入下一批作业，将输出磁带送到专用输出计算机，进行脱机打印。

这种批处理控制程序解决了作业间的自动转接问题，减少了机器时间的浪费，但它还未真正实现对作业的控制和管理，存在较多的问题和不足。其一，不管作业大小，只要它一旦占用处理机开始执行，则必须一直占据处理机，直到运行完毕。其二，资源利用率低。作业运行过程中通常都有一些计算和一些输入/输出操作，计算时，I/O 设备空闲；输入/输出数据时，处理机空闲。而内存仅装入一个作业，也会浪费很多内存空间。其三，对短作业不公平。因为它们等待执行的时间可能远远超过它们实际执行的时间。其四，交互性差。作业由批处理程序控制运行，用户无法实时控制。如果运行期间出现故障，也只能停下来，重新运行。

单道批处理系统中，任意时刻只允许一道作业在内存中运行。由于作业运行期间可能需要一段时间计算，一段时间进行输入/输出，而相对于处理机的计算速度，输入/输出的速度是非常慢的。这就意味着在一个作业的运行过程中，处理机可能会长时间空闲。为了提高系统资源利用率和系统吞吐量，在 20 世纪 60 年代中期出现了多道程序设计技术，由此形成了多道批处理系统。这里批处理的概念与单道批处理系统一样，用户提交的作业首先存放在外存，并排成一个队列。然后，由作业调度程序按照一定的算法从该队列中一次选取一个或若干个作业装入内存执行。这里的多道是指允许多个程序同时存在于主存中，按照某种原则分派处理机逐个执行这些程序。当某个程序占用处理机执行过程中遇到了输入/输出语句，可以启动专门负责输入/输出的系统服务程序完成输入/输出操作，而处理机切换到另一个程序执行。与单个执行程序相比，多道程序设计技术大大提高了处理机的利用率和系统吞吐量。这种为了提高系统吞吐量和资源利用率，允许多个程序同时驻留内存，使处理机在这些程序之间切换，在一段时间内，执行完多个程序的处理技术称为多道程序设计技术（multiprogramming）。现代操作系统大多都采用了多道程序设计技术。

多道批处理系统比单道批处理系统的资源利用率及系统吞吐量等性能有了很大的提高。但是，这需要相应的硬件和软件支持，而且带来了一系列新的问题需要解决。

（1）处理机的分配与回收。多道程序批处理系统中，多个程序竞争处理机的使用权，如何公平地分配和回收处理机，且保证其利用率是非常重要的。当程序执行被中断时，如何记录当前的处理机信息，使下次执行时能从中断点正确地恢复信息，继续执行。

（2）内存的分配与保护。多个程序同时驻留内存，需要确保用户程序不会非法修改系统程序和数据，用户程序之间也不能相互干扰。如何在有限的内存空间装入尽量多的程序，提高内存的利用率。

（3）I/O 设备的共享与效率。多道程序对资源的竞争也包括对 I/O 设备的竞争。如何分配这些 I/O 设备，如何既方便用户对设备的使用，又能提高设备利用率。如何减少慢速 I/O 设备对快速处理机的速度制约。

（4）文件的有效管理。如何有效管理文件，使其方便用户的使用，并保证数据的安全性和一致性。如何合理地组织外存上的文件，使之既能满足文件读/写效率，又能保证外存的利用效率。如何保护文件只被授权的用户以合法的方式访问。

(5) 作业的组织。如何选取作业(选取哪些,选取多少)进入内存,使之既满足用户的要求,又能提高整个系统的性能。例如,有些作业属于计算型,即以计算为主;有些作业属于I/O型,即以I/O为主。均衡地选取这两类作业进入内存,将有利于系统资源的平衡使用。

多道批处理系统的出现有效提高了系统资源的利用率和吞吐量。但是,批处理系统交互性很差,程序员不能即时调试自己的程序,无法与计算机进行直接交互操作。为了改进系统的响应时间和性能,提供交互式操作环境,促使了分时系统的出现。其实质是在多道程序技术的基础之上,为多个用户配置一个联机终端。在分时系统中,多个用户可以轮流使用处理机执行自己的程序,能得到计算机快速的交互式响应。同时,当处理机空闲时还能运行后台的大作业。

为了提高单道分时系统中处理机的利用率,引入了“前台”和“后台”的概念,形成具有分时处理功能和批处理功能的分时系统。在这样的分时系统中,将内存划分为“前台区”和“后台区”两部分,“前台区”存放按时间片“调入”和“调出”的作业流,“后台区”存放批处理作业。仅当前台作业调入/调出,或前台无作业可运行时,方可运行“后台区”中的作业。由于前台的分时任务通常是用户提交的一些简短命令,执行时间较短。因此,计算机能够为许多用户提供交互式的快速服务,同时在处理机空闲时运行后台较大的批作业。

分时系统为交互式作业提供了快速的响应服务,但还不能满足某些对响应时间要求非常严格的任务需要。例如,炼钢、炼油过程中,当检测到当前温度达到某个值时,需要添加某种原料,如果系统未按要求实施相应的控制,将出现灾难性后果。航空网络售票系统也需要即时更新数据库记录,否则将导致数据不一致。这些系统不是一般的分时系统,而属于实时系统,它们对任务的响应时间有更严格的要求。

1.2.3 操作系统的进一步发展

随着微电子技术和大规模集成电路的发展,大规模及超大规模集成技术用于计算机,将运算器、控制器和相应接口集成在一块芯片上,产生了微处理器,于是个人计算机时代到来了。为个人计算机配置的操作系统称为现代操作系统。目前,个人计算机操作系统种类繁多,更新速度极快,主要有UNIX、OS/2、Windows系列、Linux等,其中最具代表性的是Windows系列、Linux和UNIX。

20世纪80年代中期,由于计算机网络的迅速发展,网络操作系统和分布式操作系统得到了广泛应用。网络操作系统与单处理机操作系统并无本质区别,前者需要一个网络接口控制器及一些用于驱动的低层软件,同时还需要相应的远程登录软件和远程文件访问软件。而一个分布式系统由多台处理机组成,这些处理机被一个分布式操作系统控制,将用户的一个应用程序分布在多台处理机上同时运行。这就要求分布式操作系统能合理地调度各处理机,使整个系统获得最大的并行度。但所有这些处理机、处理机的调度以及任务的划分等细节对用户来说都是不透明的,用户只感觉到系统快捷的响应速度和强大的功能。

随着工业化程度的进一步提高和操作系统的微型化,嵌入式操作系统越来越受到社会的认同和重视,其应用已深入到众多行业和领域。



1.3 现代操作系统的设计概述

本质上，操作系统是计算机中的一种系统软件。按照软件工程的观点看，操作系统的设计必须遵循需求分析、系统设计、编码实现、产品测试等必要过程，如图 1.2 所示。本节主要介绍操作系统设计过程中的需求分析、体系结构设计以及必要的数据结构等知识。

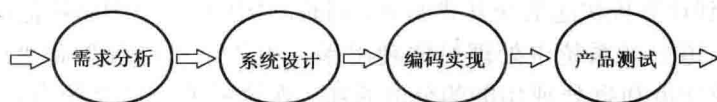


图 1.2 软件设计的典型过程

软件系统的系统需求是指，人们从软件系统的外部对软件系统提出的诸多期望。这些期望包括三种类型：①软件系统能提供的服务；②软件系统在提供这些服务时需要满足的限制条件；③软件系统具有适应某些变化的能力。其中，第一类系统需求是后两类系统需求赖以存在的基础，称为软件系统的功能性需求，后两类系统需求称为软件系统的非功能性需求。

1.3.1 操作系统的功能性需求

操作系统的主要功能是有效管理系统资源，合理控制系统工作流程，方便用户使用。资源管理的主要目标是提高资源的利用率，合理地为用户作业分配资源，使系统能有条不紊地运行。

现代计算机系统中的重要资源包括硬件资源、软件资源和用户资源。为此，操作系统的主要任务就是管理包括处理机、存储器、输入/输出设备、数据文件以及用户和程序接口等资源。此外，随着计算机软硬件技术的发展和应用的需要，现代操作系统还对网络与通信资源、安全机制与设施资源、多媒体资源等的管理和协调进行了新的功能扩充。下面分别介绍操作系统应该具备的主要功能。

1. 接口功能

操作系统为用户提供的人机交互界面称为接口，通常以命令或系统调用的形式呈现给用户。命令供用户通过键盘终端与计算机交互，系统调用则供用户编程时使用。这两种接口分别称为命令接口和程序接口。其中，命令接口又分为字符方式和图形化方式两类。

(1) 命令接口。命令接口通过在用户和操作系统之间提供高级通信来控制程序运行，用户通过输入设备（终端、键盘、鼠标、触摸屏等）发出一系列命令告诉操作系统执行所需功能，包含联机命令（on-line）和脱机命令（off-line）两类接口。联机命令接口由一组键盘命令及命令解释程序组成。用户通过终端或控制台输入命令，系统启动命令解释程序对其进行解释执行，用户通过输入各种命令控制作业的运行。联机命令因系统不同而异，一般包括系统管理、环境设置、执行权限管理、文件管理、编辑、编译、链接装配、执行程序 and 通信等

几大类。脱机命令接口又称为批处理用户接口，由一组作业控制语言 JCL 组成，控制批处理作业的运行。批处理作业的用户不能直接与自己的作业交互，而是事先用 JCL 把需要对作业进行的控制写在作业说明书上，将作业连同作业说明书一起提交给系统。系统按照作业说明书上的逐条命令执行作业，期间用户无法直接与自己的作业交互，直到作业运行完毕。

虽然用户可以通过联机用户接口来取得操作系统的服务，并控制自己的应用程序的运行，但要求用户能熟记各种命令的名字和格式，并严格按照规定的格式输入命令，这既不方便又费时间。于是，图形用户接口便应运而生。在 20 世纪 90 年代新推出的主要操作系统中，大都提供了图形用户接口。其中，最具代表性的当数微软公司的 Windows 操作系统。

然而，采用图形界面要使用大量的系统资源，需要占用相当的存储空间和磁盘空间，增加系统的运行时间、通信时间及切换时间。图形的显示要求性能较高的显示器及相关的配套元件。所幸的是，计算机硬件的发展速度极快，硬件的更新换代完全能适应软件的升级发展，图形用户界面得到了计算机运行速度、内外存空间及显示精度等各方面技术的支持。如今，系统界面的友好性和易用性逐渐成为操作系统中的重要部分，用户在很大程度上以这两个标准来判断一个系统的优劣。

(2) 程序接口。也称为系统调用，是操作系统对运行程序提供服务并与之通信的一种机制。用户在程序中利用程序接口访问系统资源、取得操作系统的服务，如申请和释放外设等资源、控制程序的执行进度等。程序接口由一系列系统调用组成，每个系统调用都是一个能完成特定功能的子程序。一些较低级的编程语言可以直接使用系统调用，而高级语言（如 C 语言）则提供了与系统调用对应的库函数，应用程序中通过调用库函数来使用系统调用。除了向所有用户程序提供程序接口外，操作系统的其他部分都要使用程序接口。

系统调用是一种特殊的过程调用，通常由特定的机器指令完成。它除了提供一种调用操作系统子程序的有效方法外，还将系统转入特权方式。系统调用作为一种低级过程，可通过汇编语言或者高级语言的子程序库存取。程序员利用系统调用，在源程序一级动态请求和释放系统资源，调用系统中已有的系统功能来完成那些与机器硬件部分相关的工作，以及控制程序的执行速度等，从而屏蔽操作系统的具体动作细节，让程序员利用其功能，大大简化了编程难度。

2. 处理机管理功能

处理机是计算机系统的核心，合理分配处理机，并有效控制和管理其运行是处理机管理的主要任务。在多道程序环境下，处理机的分配和运行都是以进程为基本单位的，因此对处理机的管理可以归结为对进程的管理。主要包括进程控制、进程同步、进程通信和进程调度等方面。

(1) 进程控制。当用户作业要运行时，应为之建立一个或多个进程，并为它分配除处理机之外的所有资源，将它们放入进程就绪队列。当进程运行完成时，立即撤销该进程，以便及时释放其所占用的资源。进程控制的基本功能是创建和撤销进程以及控制进程的状态转换。

(2) 进程同步。所谓进程同步是指系统对并发执行的进程进行协调。最基本的进程同步方式是使诸进程以互斥方式访问临界资源。此外，对于彼此相互合作完成共同任务的诸进程，则应由系统对它们的运行速度加以协调。